



И. А. Иконникова¹, Е. З. Коварская² (✉), д. т. н. Б. Л. Красный¹,
д. т. н. И. Б. Москоуенко², д. т. н. А. И. Потапов³

¹ ЗАО «НТЦ «Бакор», Москва, г. Щербинка, Россия

² ООО «ЗВУК», Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

УДК 666.76.017:620.179.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТИГЛЕЙ И ДРУГИХ ВИДОВ ОГНЕУПОРОВ*

Показана возможность неразрушающего контроля физико-механических свойств огнеупорных изделий достаточно сложной формы, выпускаемых ЗАО «НТЦ «Бакор», на примере многолетнего опыта производственного контроля качества высокоогнеупорных керамических тиглей различных размеров и характеристик.

Ключевые слова: высокоогнеупорные тигли, неразрушающий контроль, физико-механические свойства, собственная частота, скорость распространения акустических волн.

Современные огнеупорные изделия в зависимости от назначения имеют широкий диапазон форм, размеров и изготавливаются из материалов с существенно различными физико-механическими свойствами. Действующими нормативными документами в основном регламентируются механические характеристики — прочность, плотность, пористость, определяемые разрушающими методами на специальных образцах, вырезанных из изделий, представляющих собой выборку из технологической партии. При этом технология изготовления всех видов огнеупорных изделий не всегда гарантирует полную идентичность свойств в отдельной технологической партии, а условия эксплуатации требуют обеспечения именно подбора комплектов изделий, имеющих физико-механические свойства в заданном, в ряде случаев достаточно узком, диапазоне.

Надежную оценку свойств огнеупоров с обеспечением сплошного контроля в настоящее время можно получать, применяя методы неразрушающего контроля (НК) изделий [1]. Все большее распространение для НК огнеупорных изделий начинают находить акустические методы, основанные на определении скорости распространения акустических волн C_l по результатам измерения частот собственных колебаний изделий [2]. Весьма информативным

параметром при проведении акустического контроля является звуковой индекс (градиация скорости C_l с шагом 200 м/с по ГОСТ Р 52710).

Определение физико-механических характеристик материала изделий основано на связи частот их собственных колебаний со скоростью распространения акустических волн в материале, из которого они изготовлены.

Известно, что

$$f_i = F_i \cdot C_l,$$

где f_i — частота собственных колебаний (ЧСК) определенного вида (i); F_i — коэффициент формы, зависящий от формы и размеров изделий, коэффициента Пуассона, а также от вида колебаний; $C_l = \sqrt{E/\rho}$ — имеет физический смысл скорости распространения упругих колебаний в бесконечно длинном стержне, изготовленном из такого же материала, что и материал контролируемого изделия, используется как выходной параметр контроля; E — модуль Юнга; ρ — плотность материала изделия.

Скорость распространения акустических волн напрямую связана с пористостью, кажущейся плотностью и прочностью огнеупорных изделий, а также с их технологией изготовления и поведением в процессе эксплуатации.

Наиболее простыми изделиями с точки зрения организации НК и разработки методик контроля являются прямые изделия. Однако и для изделий достаточно сложных форм также могут быть разработаны специальные методики экспресс-контроля, основанные на применении акустических методов. Интегральные оценки, получаемые при таком контроле с использованием ЧСК, достаточно надежно совпадают с результатами ультразвукового контроля, усредненными по нескольким измерениям, а в ряде

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (19–20 марта 2015 г., Москва).



Е. З. Коварская
E-mail: info@ndtest.ru

случаев могут использоваться для оценки неоднородности свойств изделия [3].

Примером успешного использования акустического метода служит контроль такой сложной и ответственной продукции, как тигли. Тигли — один из видов огнеупорных изделий, для которых оценка свойств каждого единичного образца является условием его успешной эксплуатации. Это тот случай, когда характеристики партии, полученные при выборочном контроле, не могут гарантировать качественную оценку работы каждого изделия из партии. В связи с тем, что эксплуатация тиглей обычно представляет собой циклический процесс, важную роль, кроме исходных характеристик, играет изменение свойств во время службы тиглей. Для этого вида изделий особенно важно обеспечение возможности сплошного НК как при их изготовлении, так и по мере их эксплуатации. Известно использование для этих

целей акустических методов контроля, основанных на измерении частоты собственных колебаний (ЧСК) [4, 5]. Метод измерения ЧСК тиглей основан на возбуждении свободных колебаний в контролируемом изделии механическим ударом с последующим выделением отдельных составляющих спектра частот. Скорость распространения акустических волн рассчитывают с учетом формы и геометрических размеров изделия.

Возможность и целесообразность неразрушающего акустического контроля физико-механических свойств огнеупорных изделий наглядно подтверждаются десятилетней успешной эксплуатацией в ЗАО «НТЦ «Бакор» измерителя частот собственных колебаний «Звук-203М» применительно к контролю высокоогнеупорных тиглей, предназначенных для плавки металлов и сплавов. Контроль производится путем измерения ЧСК и определения приведенной скорости распростране-

МЕТОДИКА АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКООГНЕУПОРНЫХ ТИГЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА «ЗВУК-203М» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ ТИПА f_d

Входные данные для контроля*¹

Номер тигля	Размеры тигля* ²					Номер поддиапазона* ³	Коэффициент формы F , 10^{-3} мм^{-1} (пункт «F» основного меню)
	D	H	d	h	$d_{\text{дн}}$		
0	124	200	110	193	50	8	0,253
1	140	286	120	265	60	7	0,292
2	168	330	148	307	60	7	0,197
3	177	405	152	380	60	7	0,228
4	165	370	140	350		8	0,266
5	195	260	170	240		7	0,185
6	242	390	206	365		7	0,177
7	285	465	235	445		7	0,182
8	165	290	138	265		8	0,290
9	230	135	190	115		7	0,224
10	330	380	280	350		6	0,133
11	560	600	480	560		5	0,073

*¹ Все входные данные и критерии оценки подлежат уточнению и корректировке в процессе отработки методики контроля.

*² D — наружный диаметр; H — высота; d — внутренний диаметр; h — глубина; $d_{\text{дн}}$ — диаметр дна. Размеры, влияющие на поправку, D , H , d .

*³ Время измерения (пункт «» основного меню) 10–200 мс, время задержки (пункт «» основного меню) 0–500 мс.

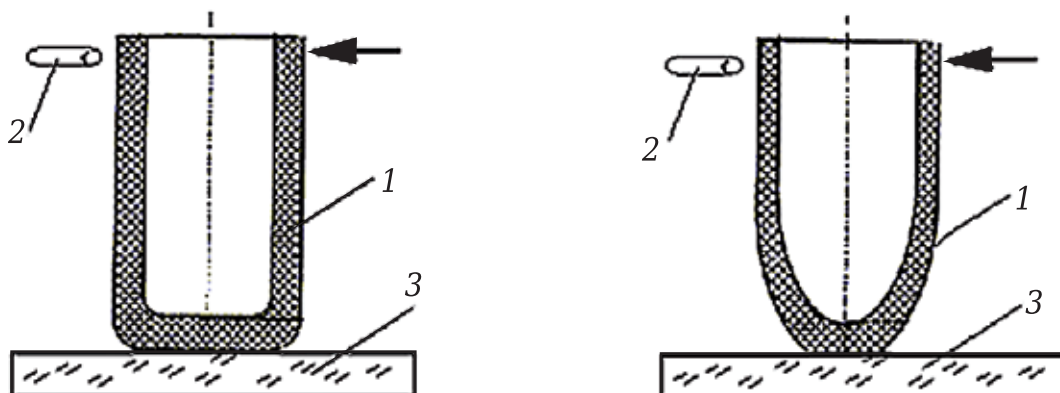


Схема установки изделия на измерительной позиции: 1 — микрофон; 2 — контролируемое изделие; 3 — коврик из поролона или резины;  — направление и место нанесения удара. В качестве ударника используется слесарный молоток массой 50–100 г, деревянная ручка слесарного молотка, ручка отвертки и т. п.

ния акустических волн C_s по специально разработанной методике. При этом определены допустимые интервалы изменения физико-механических свойств изделий, изготовленных из различных материалов. В ЗАО «НТЦ «Бакор» выпускаются керамические тигли из материала четырех видов: корундомуллитциркониевые, корундовые, муллитокорундовые и периклазовые. Имеется большой ассортимент тиглей по габаритам: диаметр от 124 до 560 мм, высота от 200 до 600 мм. Опытным путем в результате обработки статистических данных были установлены оптимальные диапазоны параметра C_s , которые позволяют судить о степени спекания и качестве тиглей различных марок, м/с: корундомуллитциркониевых 2500–2800 (звуковой индекс (ЗИ) 25–27); муллитокорундовых 3000–3500 (ЗИ 31–35); корундовых 3500–4500 (ЗИ 35–45); периклазовых 5400–6000 (ЗИ 55–59). Все необходимые для измерения и контроля данные приведены в методике акустического контроля.

Использование акустического метода контроля позволяет с помощью приборов типа «Звук» вести 100 %-ный неразрушающий кон-

Библиографический список

1. **Александров, Б. П.** Неразрушающие методы контроля в огнеупорном производстве / Б. П. Александров, И. Н. Ефимова // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 161.
2. **Московенко, И. Б.** Неразрушающий контроль физико-механических свойств и мониторинг технологии производства огнеупорных изделий / И. Б. Московенко // Новые огнеупоры. — 2005. — № 11. — С. 38–40.
3. **Буравов, А. Д.** Исследование возможности оценки физико-механических свойств изделий из огнеупорных бетонов акустическими методами / А. Д. Буравов, С. В. Вихман, Е. З. Коварская [и др.] // Новые огнеупоры. — 2013. — № 1. — С. 60–62.

троль изделий из различных технологических партий, оценивать пористость, кажущуюся плотность и прочность огнеупорных изделий по заранее определенным корреляционным зависимостям, а также подбирать комплекты изделий с заданными физико-механическими свойствами.

Результаты, накопленные в ходе испытаний и использования НК для контроля качества огнеупорных изделий в условиях их производства и эксплуатации, по нашему мнению, позволяют приступить к более широкому освоению НК огнеупорных изделий различных типоразмеров и назначения. Выполнение работ по расширению областей применения НК огнеупоров целесообразно проводить в рамках специально разрабатываемых программ после согласования с изготовителями и потребителями соответствующей огнеупорной продукции. В качестве примера проект подобной программы по освоению неразрушающих методов контроля физико-механических свойств и качества огнеупоров был представлен на предыдущей ежегодной международной конференции огнеупорщиков и металлургов в апреле 2014 г. [6].

4. **Московенко, И. Б.** Акустический неразрушающий метод контроля качества углеродных тиглей для плавки металла / И. Б. Московенко, А. Н. Чернявец, Е. З. Коварская // Цветные металлы. — 1997. — № 3. — С. 77–79.
5. **Кугушев, В. И.** Метод экспресс-контроля керамических тиглей / В. И. Кугушев // Сб. тр. II Международной научно-практической конференции «Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении». Т. II. — Санкт-Петербург, 16–17 апреля 2014. — С. 144–147.
6. **Коварская, Е. З.** Разработка рекомендаций по освоению неразрушающих методов контроля физико-механических свойств и качества огнеупоров / Е. З. Коварская, И. Б. Московенко, А. И. Потапов // Новые огнеупоры. — 2015. — № 2. — С. 64–67. ■

Получено 06.04.15

© И. А. Иконникова, Е. З. Коварская, Б. Л. Красный,
И. Б. Московенко, А. И. Потапов, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

	The Conference on RAW MATERIALS 2015 Конференция по сырьевым материалам 2015 6–7 октября 2015 г. г. Прага, Чехия www.silikaty.cz
 The Czech Silicate Society the member of European Ceramic Society (ECS) in cooperation with The Czech Association of Scientific and Technical Societies	Тематика: - Добыча, обработка и тестирование силикатного сырья - Использование сырья для производства керамики, огнеупоров и строительных материалов - Добавки и связующие вещества для керамических смесей - Использование вторичного сырья - Изделия из глины с добавками - Сырье и материалы для высокотехнологичной керамики - Наноматериалы и их использование в керамике